

対向流拡散炎に関する基礎的研究

著者	新岡 嵩
号	210
発行年	1969
URL	http://hdl.handle.net/10097/8946

氏 名 (本 籍) 新 岡 嵩 (秋 田 県)

学 位 の 種 類 工 学 博 士

学 位 記 番 号 工 博 第 2 1 0 号

学位授与年月日 昭 和 4 5 年 3 月 2 5 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当

研究科専門課程 東北大学大学院工学研究科
(博士課程) 機械工学専攻

学 位 論 文 題 目 対向流拡散炎に関する基礎的研究

(主 査)

論 文 審 査 委 員 教 授 大 塚 芳 郎 教 授 弓 削 達 雄

教 授 五 味 丸 典 教 授 武 山 斌 郎

論 文 内 容 要 旨

序 論

拡散炎は，内燃機関やボイラ等で工業上広く用いられているにもかかわらず，予混合炎における例えば燃焼速度，消炎距離，可燃限界等の燃焼特性を定義しにくいという困難があって，その基礎的研究が活発になったのは最近である。

Burke & Schumannが拡散炎という不均質の現象を的確にとらえ，その物質伝達論的解析が行われて以来，この研究を踏襲した噴流拡散炎が研究対象であったが，数年来，新しい型の拡散炎である対向流拡散炎が登場し，注目を集めている。これは，燃料ガスと酸化剤ガスとの対向流の激面近傍に流れと直角に生ずる平板状拡散炎であって，これまで研究対象としてきた拡散炎とは違って，炎面方向に速度勾配を持ち，しかも対流速を大きくすることによって，炎面への質量流束を

いくらかでも大きくできる特徴をもつ。従って、燃料液滴を取りまく球状拡散炎のような拡散炎から、消炎寸前の高速対流拡散炎に至るまで拡散炎のあらゆる段階を、純粋な定常態で実現できる利点があるので、対流速による火炎性状の変化は興味深い問題となる。本論文は、低速対流拡散炎から消炎寸前の高速対流拡散炎までの広い範囲の対流速による対流拡散炎の性状を実験的に調べ、火炎面への燃料及び酸素流束の比 (R) の変化による特異的变化を見出し、更に理論的検討を加えたものである。

第 I 部 対向噴流拡散炎

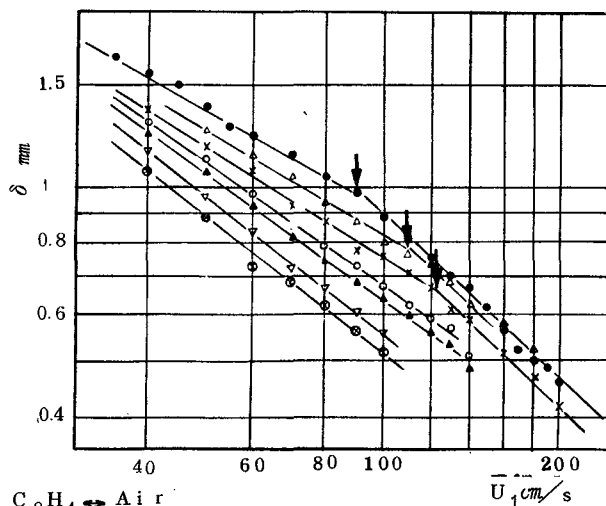
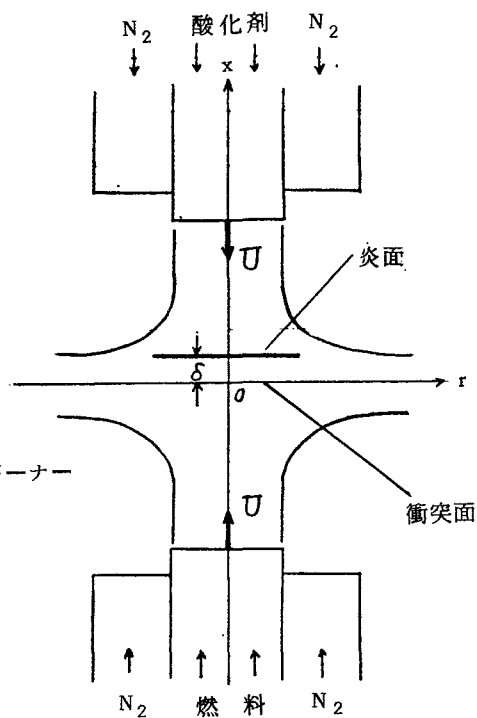
第 1 章 Thin-flame モデルによる解析

対向した二つの円管バーナーの一方から空気などの酸化剤ガスを流し、他方から燃料ガスを流して衝突させ点火すると、衝突面近傍に円板状の拡散炎が形成されるが、このとき炎面は、衝突面から通常、酸化剤側に偏位 (δ) だけ離れた位置に生ずる。従来の thin-flame モデルによって R の値が完全酸化比であるという仮定のもとに簡単な解析を行ない、 δ と中心軸上流速 U の関係 $\delta \propto U^{-\frac{1}{2}}$ 及び δ と無限遠濃度との関係等を求めた。

第 2 章 実 験

実験は第 1 図に示す様なバーナーによって、バーナー直径 8 mm, バーナー間隔 16 mm として行なった。バーナーは同心外円筒を有し、バーナーとの間に窒素ガスを流して火炎の尾を消し、円板状火炎を作ることができた。噴流内への窒素ガスの濃度は無視できる程度である。燃料或いは酸素の無限遠濃度を窒素ガスを混入することによって組合せを変え、メタン、エチレン、プロパンの三種類の燃料について、 $U = 3.5 \sim 200 \text{ cm/sec}$ の範囲で実験した。衝突面の位置は、流れの中に MgO 粉末を混入させてとらえ、偏位を測定した結果、どの燃料についても第 2 図に示すような不連続点が見出された。

第1図 対向噴流バーナー
説明図



- $C_2H_4 \rightleftharpoons Air$
- △ 80% $C_2H_4 + 20\% N_2 \rightleftharpoons Air$, × 70% $C_2H_4 + 30\% N_2 \rightleftharpoons Air$
- 60% $C_2H_4 + 40\% N_2 \rightleftharpoons Air$, ▲ 50% $C_2H_4 + 50\% N_2 \rightleftharpoons Air$
- ▽ 40% $C_2H_4 + 60\% N_2 \rightleftharpoons Air$, ⊗ 30% $C_2H_4 + 70\% N_2 \rightleftharpoons Air$

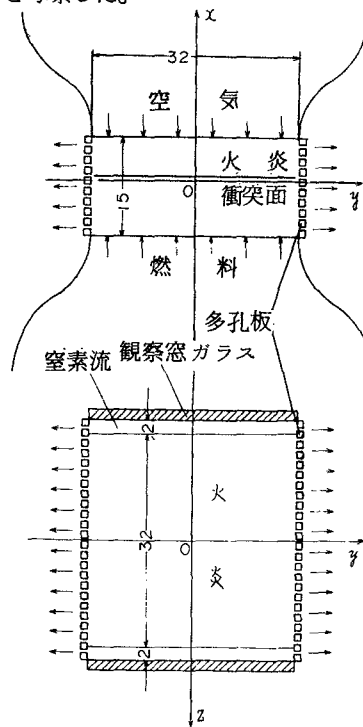
第3章 考 察

不連続点に至る遷移前については、第1章で得られた δ と U 或いは無限遠濃度との関係が実験的にも成り立ち、従来の拡散炎面における条件である「酸素と燃料の質量流束の比(R)は完全酸化比($R_{st.}$)である。」を満足しているものと考えられるが、遷移後については δ と U の関係が大概 $\delta \propto U^{-1}$ の関係となり、対流速が大きくなると、より燃料側に火炎が位置することから、遷移後には、 R の値は一定でなく、rich になるであろうことを予想した。

第II部 対向二次元流における定常一次元拡散炎

第4章 バーナーの理論

第I部で検出された遷移の現象を更に詳細に、総合的に調査するのに適した対向流拡散炎を考えた。流れは二次元であるが、火炎が衝突面と平行になり、温度、濃度、物性値等が火炎と直角な軸方向(x)にだけ変化するような大きな定常一次元拡散炎は、火炎面方向(y)には速度勾配(伸長率 ε)が一定で、 x 方向にだけ変化し得る場合に可能である。このような拡散炎には、 $\varepsilon \propto \sqrt{T}$ の関係が成立していなければならないことを解析し、この条件を満足するためには、任意の y の位置に多孔板を備えれば良いことを考察した。



バーナー概略図
- 72 -

第5章 実 験

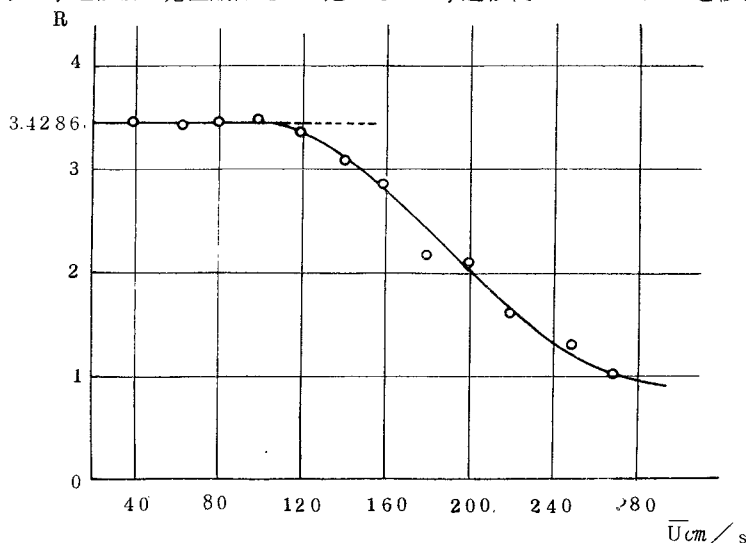
バーナーの基本構図は第3図に示す通りである。正方形断面ノズルを15mmの間隔で対向させ、バーナー出口にはノズル出口流速(U)によって三種類の多孔板を設けた。観察窓ガラスは2mmの窒素流でシールしてある。火炎の大きさは 32×32 で完全に平らであり、陰写真によってもその一次元性を確認できた。

温度分布は、火炎が広い範囲にわたって一次元であることを利用して、Deflection method によって求めた。 U による火炎温度の変化は、偏位が遷移する U の値と同じ値で遷移が見出された。

濃度分布測定用のバーナーを別に作製し、これによって遷移前後の二つの対流速について分析を行った結果、遷移前後を通じ、燃料は火炎面で零になるが、酸素は火炎面で零にならず、燃料側につき抜けている事を知った。また、不完全燃焼によって生成される CO , H_2 の量が火炎の燃料側端付近に極大値をもつ分布をし、遷移後には、その量が増大していることがわかり、火炎がrichへと遷移していることを裏付けた。

第6章 温度分布及び偏位の測定結果から算出した諸値

第II部で取扱ったバーナーには、 $\epsilon \propto \sqrt{T}$ の関係があることを利用して、求めた温度分布、偏位の測定結果から火炎回りの流速分布、流線図、等速線図、火炎面における軸方向速度、発熱速度等を求めた。更に、thin-flame モデルによって、火炎への質量流束の比(R)を求めた結果、第4図に示すように、遷移前は完全酸化比で一定であるが、遷移後にはrichへと移行する結果を得た。



燃料と酸素の質量流束の比の変化

第Ⅲ部 遷移の理論

第7章 遷移の理論

従来用いられてきた拡散炎面における条件は、 $R = R_{st.}$ という仮定であった。 $R = R_{st.}$ になり得る位置でなければならないという理論的説明は今日まで知見しないが、数多くの実験によって、少なくとも火炎面への質量流束が小さい拡散炎については大体成立つことが報告されてきているし、本研究における対向流拡散炎についても、 R の値が一定である範囲が存在する。しかし、対流速による偏位等の変化の様相は、ある対流速で急激に変わり、しかも R の値が一定でなくなり、従来の仮定で得られる傾向とは別の傾向に遷移した。第Ⅲ部では、実験のすべての範囲を説明できる拡散炎の新しい条件として、「火炎は火炎温度が最高温度になる位置にできる。」という仮定を導入し、これによって空気側に火炎がある場合の遷移の定性的把握を試みた。

熱解離を無視すると、炭化水素燃料が酸素不足で不完全燃焼する場合には、 CO 、 H_2 が生成される反応が存在し、従ってまた、燃料の発熱量全部を遊離できない。このことに着目すると、対流速が大きくなって、*rich* になると、燃料の見掛けの発熱量が減少しても燃料流束が大きくなるし、より激面に近く位置することから、火炎からの熱流束は小さくなるので、最高温度の位置は完全酸化比の位置から *rich* になる位置へと移行することが考えられる。

第8章 解析

濃度分析の分析結果を考慮して、酸素が燃料側へ突き抜け、有限の反応速度を加味させた簡潔な火炎面モデルによって、火炎面における成分、エネルギー保存条件及び新しく提唱した拡散炎における条件を用いて解析を行ない、次いで活性化エネルギー三種類について数値計算を行なった結果、温度、偏位、 R などが実験値と同じ傾向を示し、定性的一致をみることができた。

第9章 消炎限界

第8章の解析で、 U 即ち ε_{∞} (無限遠伸長率)を大きくしてゆくと、火炎温度は求まらなくなることからこの点を消炎点と定義し、遷移前に消炎する場合と遷移後に消炎する場合に分けて消炎時の値を求めた。

結 論

従来の研究対象であった *Burke & Schumann* 炎とは違って、炎面方向に速度勾配を持ち、

しかも対流速を大きくすることによって炎面への質量流束を制御できる，いわゆる対向流拡散炎について，対向流速の広い範囲にわたって実験及び簡潔な理論解析を行なって，拡散炎面の構造を調べ，基礎的知見を得ることができた。

本研究は，主に伝達論的に取扱って説明しようとしたものであって，今後は例えば反応帯内の更に細かい構造を素反応に立戻った，反応論的取扱いによって，一層詳しく調べる必要があると考える。

審 査 結 果 の 要 旨

火炎の構造研究は、炎面方向の速度勾配がない場合について行なわれることが多かったが、近年に至って、炎面を伸長させる速度勾配（伸長率）が存在する流れに生ずる火炎、なかでも拡散炎についての構造研究が行なわれるようになり、速度、温度、濃度場が測定されて、反応に参与する各種成分の流束および生成・消滅速度の分布が明らかにされつつある。しかるに、測定技術上の困難のために速度場の測定は伸長率の低い範囲に限定されるので、伸長率による火炎構造の変化は未だ充分明らかにされていない。

本論文は、対向流に生ずる伸長する拡散炎について、伸長率による火炎構造の変化を解明することを目的とするもので、序論、3部9章および結論より成る。

第1部は軸対称対向噴流拡散炎に関するものである。第1章では、薄炎モデルにもとづく解析によって、輝炎帯の偏位と伸長率との関係を求めている。第2章では、メタン、プロパンおよびエチレンについて、偏位と伸長率との関係を測定し、どの燃料についても、偏位が不連続的变化を示す伸長率が存在することを見出している。これは炎面構造の遷移によるものとして、第3章で若干の考察を加えている。

第2部は対向2次元流1次元拡散炎に関するものである。第4章では、1次元炎を生ずる対向2次元流バーナの理論を述べ、流出面に多孔板を設けることによって、流出面の炎面方向分速度が絶対温度の平方根に正比例する場合には近似的1次元炎が得られて、温度場のみを測定することによって容易に速度場が求められることを示している。第5章では、このバーナにおいて高精度の近似的1次元炎が得られることを実証し、さらに、光学的温度測定の結果、輝炎帯温度も遷移伸長率において不連続的变化を示すことを見出している。第6章では、上記の測定結果を用いて、輝炎帯への酸素と燃料の質量流束比を、薄炎モデルによって求めた結果、遷移前には流束比は一定であるのに対して、遷移後は伸長率が大なるほど燃料過剰となることを見出している。

第3部では遷移の理論を述べている。第7、8章において、輝炎帯の酸素濃度はゼロでなく、輝炎帯厚さは伸長率と流束比で変化する炎面モデルによって解析を行なった結果、輝炎帯温度極大なる条件を満たす解には、偏位と輝炎帯温度が不連続的に変化する伸長率が存在して、実験結果と定性的に一致することを示した。第9章では、この炎面モデルの立場から消炎限界について考察を加えている。

以上要する本論文は、拡散炎の遷移を見出すなど拡散炎構造の伸長率による変化について新しい知見を加えたものであって、燃焼工学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。